



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 44 15 783 A 1

51 Int. Cl.⁶:
B 23 K 37/00
C 04 B 37/00
B 29 C 39/42
B 23 K 26/00
B 22 F 3/00

21 Aktenzeichen: P 44 15 783.5
22 Anmeldetag: 5. 5. 94
43 Offenlegungstag: 10. 8. 95

DE 44 15 783 A 1

30 Innere Priorität: 32 33 31
04.02.94 DE 44 03 453.9

71 Anmelder:
Rothe, Rüdiger, Prof. Dr.-Ing., 28757 Bremen, DE

74 Vertreter:
Bolte, E., Dipl.-Ing.; Möller, F., Dipl.-Ing.; Heiland, K.,
Dipl.-Ing., 28209 Bremen; Popp, E.,
Dipl.-Ing./Dipl.-Wirtsch.-Ing./Dr.rer.pol.; Sajda, W.,
Dipl.-Phys.; Bohnenberger, J., Dipl.-Ing./Dr.phil.nat.;
Reinländer, C., Dipl.-Ing./Dr.-Ing., Pat.-Anwälte,
80538 München; Dettmann, F., Dr. jur., Rechtsanw.,
28209 Bremen

72 Erfinder:
gleich Anmelder

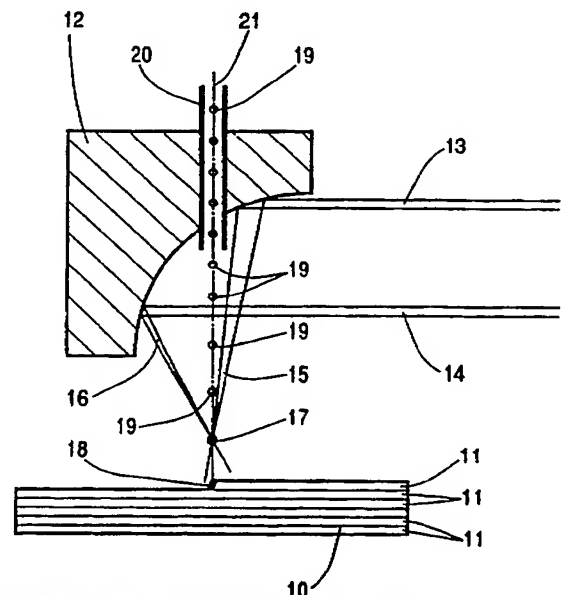
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE	43 05 201 C1
DE	41 22 326 C1
DE	35 00 724 C1
DE	34 40 870 C2
DE	34 22 638 C2
DE	36 17 008 A1
DE	36 14 098 A1
DE	30 38 707 A1
US	53 04 329
US	50 43 548
US	47 24 299
US	39 71 911
EP	04 91 636 A1
EP	04 31 924 A2
EP	02 89 116 A1
EP	5 58 870 A1

HANUSCH, Kunibert: Plasmagespritzte Überzüge. In:
BLECH Nr.8/1968, 15.Jg., S.453-461;
SIMON, Harald;
THOMA, Martin: Angewandte Ober- flächentechnik
für metallische Werkstoffe, Carl Hanser Verlag
München Wien, 1985, S.6-8,203-208;
JP 57-47591 A. In: Patents Abstracts of Japan, M-140,
July 3, 1982, Vol.6, No.120;

54 Verfahren zur Freiformherstellung von Werkstücken

57 Bei der (spanlosen) Freiformherstellung von Werkstücken
werden insgesamt geschmolzene Metallpartikel (19) mitein-
ander verschweißt zur Bildung des Werkstücks (10). Beim
Abkühlen der vollständig geschmolzenen Materialpartikel
(19) findet ein Schwinden bzw. Schrumpfen statt, das zu
Abweichungen des Werkstücks (10) von der Sollgeometrie
und einem Verziehen des Werkstücks (10) führt.
Erfindungsgemäß wird nur eine Randschicht der zur Bildung
des Werkstücks (10) dienenden Materialpartikel (19) er-
wärmt. Nach dem darauffolgenden Verschweißen kühlen die
Materialpartikel (19) ab, indem sich die Wärme in das Innere
der Materialpartikel (19) verteilt. Dadurch erfahren die
Materialpartikel (19) nur eine geringe Temperaturerhöhung,
wodurch ein maßhaltiges und verzugsfreies Werkstück (10)
entsteht.



Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 06. 95 508 032/498

6/31

DE 44 15 783 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Freiformherstellung von Werkstücken gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Mit dem hier angesprochenen Verfahren lassen sich beliebige Werkstücke, und zwar auch solche mit komplexer Gestalt, ohne Formen nichtspanend herstellen. Damit eignet sich das Verfahren besonders zur Herstellung von Prototypen und Werkstücken, für die nur eine kleine Serie aufgelegt wird.

Es ist bekannt, Werkstücke durch Freiformen herzustellen, indem vollständig geschmolzene Materialpartikelchen schichtweise miteinander verschweißt werden. Es hat sich gezeigt, daß beim Abkühlen der geschmolzenen Materialpartikelchen das Werkstück in erheblichem Maße schwindet bzw. schrumpft.

Das führt zu erheblichen Abweichungen des fertigen Werkstücks von seiner Sollgeometrie. Insbesondere kommt es zu Winkerverformungen, die ein Verziehen der Werkstücke zur Folge haben.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu schaffen, mit dem sich maßhaltige und verzugsfreie Werkstücke durch Freiformen herstellen lassen.

Ein zur Lösung dieser Aufgabe dienendes Verfahren weist die Merkmale des Anspruchs 1 auf. Der Erfindung liegt somit der Grundgedanke zugrunde, die Materialpartikel nur so weit zu erwärmen, daß die Erwärmung auf den Randbereich der Materialpartikel beschränkt bleibt. Die erfindungsgemäß nur oberflächliche Erwärmung der Materialpartikel erfolgt mit einer Intensität, die ausreicht zur Verschweißung benachbarter Materialpartikel zumindest durch Diffusionsschweißung. Die Wärme verteilt sich im Inneren der Materialpartikel, wodurch diese nur eine insgesamt geringe Temperaturerhöhung erfahren. Eine Verformung der Materialpartikel, wie sie beim aus dem Stand der Technik bekannten durchgehenden Erwärmen der Materialpartikel erfolgt, wird durch die nur oberflächliche Erwärmung vermieden. Dadurch sind Geometrieänderungen des Werkstücks — sofern sie überhaupt auftreten — nur minimal.

Erfindungsgemäß erfolgt die nur randseitige Erwärmung einer äußeren Randschicht der Materialpartikel durch eine Energiequelle hoher Intensität, beispielsweise einen Laser. Dieser ermöglicht in Sekundenbruchteilen ein Aufschmelzen einer dünnen Randschicht der Materialpartikel. In bestimmten Fällen kann es auch ausreichend sein, die Materialpartikel im Bereich ihrer äußeren Materialschicht nur zu erwärmen, ohne daß es dabei zum Anschmelzen der Randschicht kommt. Demgegenüber kann eine Erwärmung der Materialpartikel bis zum partiellen Verdampfen des äußeren Materials erfolgen, wodurch gleichzeitig eine Reinigung der Oberfläche der Materialpartikel erfolgt.

Die Verwendung von Energiequellen hoher Intensität ermöglicht es ferner, die Materialpartikel fließend, nämlich auf einem Teilbereich ihrer Bewegungsbahn zum herzustellenden Werkstück, oberflächlich zu erwärmen bzw. anzuschmelzen. Es reicht zur Erwärmung der Randschichten der Materialpartikel aus, wenn diese beim Durchtritt durch den Fokuspunkt eines oder mehrerer Energiestrahlen bestrahlt werden.

Nach einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt das Verschweißen der oberflächlich angeschmolzenen oder erwärmten Metallpartikel unter Zuhilfenahme eines Impulses. Diesen Impuls können die Materialpartikel während ihrer

Erwärmung erhalten, beispielsweise durch die zum außenseitigen Erwärmen bzw. Anschmelzen der Metallpartikel dienende Hochleistungs-Energiequelle. Diese erfüllt somit gleichermaßen zwei Aufgaben. Darüber hinaus kann der Impuls durch einen die Materialpartikel transportierenden Gasstrom, beispielsweise Schutzgas, erzeugt werden. Weiterhin kann ein elektrodynamischer Impuls durch ein Magnetfeld gebildet werden. Schließlich kann der Impuls zustande kommen durch oberflächlich verdampftes Material der Materialpartikel.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Die einzige Figur der Zeichnung zeigt schematisch einen Teil einer Vorrichtung zur Herstellung eines Werkstücks nach dem erfindungsgemäßen Verfahren.

Das erfindungsgemäße Verfahren dient zur span- und formlosen Herstellung von Werkstücken aus thermisch behandelbaren Materialien, insbesondere Metallen, Keramiken und Kunststoffen. Das in der Zeichnung stark vereinfacht dargestellte Werkstück 10 wird hergestellt durch Verschweißen einzelner Materialpartikel 19, beispielsweise kleiner Metallkörner. Aus den Materialpartikeln 19 wird das Werkstück 10 schichtweise hergestellt. Das Werkstück 10 wird demnach gebildet durch eine Mehrzahl übereinanderliegender Schichten 11 aus rasterartig aneinanderliegenden Materialpartikeln 19. Die Materialpartikel 19 sind mit benachbarten Materialpartikeln 19 derselben Schicht 11 und benachbarter Schichten 11 verschweißt. Jede Schicht 11 liegt in einer Ebene, und zwar vorzugsweise einer horizontalen Ebene. Die Ränder jeder Schicht 11 entsprechen einem in der entsprechenden Ebene des herzustellenden Werkstücks 10 liegenden Schnitts. Die erste (unterste) Schicht 11 wird vorzugsweise auf eine in der Zeichnung nicht gezeigte feste Unterlage aufgebracht.

Erfindungsgemäß werden die Materialpartikel 19 zur Verschweißung mit benachbarten Materialpartikeln 19 nur teilweise erwärmt. Diese Erwärmung erfolgt vorzugsweise derart, daß nur eine äußere Schicht der einzelnen Materialpartikel 19 vollständig oder zumindest größtenteils erwärmt bzw. angeschmolzen wird. Diese Erwärmung erfolgt nur soweit es zur Verschweißung der benachbarten Materialpartikel 19 erforderlich ist. Vorzugsweise wird nur eine dünne, äußere Randschicht der Materialpartikel 19 erwärmt. Diese Erwärmung kann soweit gehen, daß eine vorzugsweise geschlossene Mantelfläche der Materialpartikel 19 geschlossen ist, wobei das Material eines äußeren Teils der Randschicht gegebenenfalls verdampfen kann. Die Erwärmung der Materialpartikel 19 kann sowohl vor als auch während der Verschweißung erfolgen. In der Zeichnung ist vorgesehen, die Materialpartikel 19 vor der Verschweißung zu erwärmen, nämlich bevor die Materialpartikel 19 ihre vorgesehene Position auf dem herzustellenden Werkstück 10 erreicht haben.

Die Zeichnung zeigt schematisch einen Umlenkspiegel 12 einer im übrigen nicht dargestellten Bearbeitungsoptik. Im gezeigten Ausführungsbeispiel werden am Umlenkspiegel 12 zwei Einfallsstrahlen 13 und 14 derart umgelenkt, daß zwei korrespondierende Ausfallstrahlen 15 und 16 auf einen gemeinsamen Fokuspunkt 17 fokussieren. Der Fokuspunkt 17 befindet sich mit geringem Abstand oberhalb des jeweiligen Schweißpunkts 18 auf dem Werkstück 10.

In den Umlenkspiegel 12 integriert ist eine Zuführeinrichtung für die zur Bildung des Werkstücks 10 dienenden Materialpartikel 19. In der Zeichnung ist die Zuführ-

einrichtung schematisch durch ein Röhrchen 20 angedeutet. Es sind jedoch auch andere Gestaltungen der Zuführeinrichtung denkbar. Eine Längsmittelachse des Röhrchens 20 befindet sich in Verlängerung über dem Fokuspunkt 17 und über dem Schweißpunkt 18. Auf diese Weise gelangen die durch das Röhrchen 20 zugeführten Materialpartikel 19 entlang einer Bewegungsbahn 21 durch den Fokuspunkt 17 zum Schweißpunkt 18. Die Bewegungsbahn 21 liegt auf der Längsmittelachse des Röhrchens 20. Die Bewegungsbahn 21 verläuft im gezeigten Ausführungsbeispiel senkrecht. Es sind aber auch andere, zum Beispiel schräge oder horizontale, Richtungen der Bewegungsbahn 21 denkbar. Transportiert werden die Materialpartikel 19 auf der Bewegungsbahn 21 durch einen Gasstrom.

Bei den Materialpartikeln 19 kann es sich um in herkömmlicher Weise gebildete Körner, beispielsweise Metallkörner, handeln. Sie können den Röhrchen 20 aus einem in der Zeichnung nicht dargestellten Vorratsbehälter zugeführt werden oder von einem Draht abgetrennt sein, beispielsweise durch Schmelzen.

Zur Herstellung des Werkstücks 10 wird die Bearbeitungsoptik mit dem Umlenkspiegel 12 entlang einer nicht gezeigten Bahn bewegt. Diese Bahn kann über beliebige Verläufe verfügen. Es entstehen so Reihen aus nebeneinanderliegend verschweißten Materialpartikeln 19. Nachdem eine Reihe fertiggestellt ist, wird der Bearbeitungskopf mit dem Umlenkspiegel 12 auf einer senkrecht zur Reihe verlaufenden horizontalen Bahn weiterbewegt um eine Reihenbreite bzw. den Durchmesser der Materialpartikel 19. Auf diese Weise wird eine in einer Ebene liegende Schicht 11 aus mehreren nebeneinander angeordneten Reihen gebildet, indem die Ebene der jeweiligen Schicht 11 durch den Fokuspunkt 17 rasterartig abgefahren wird. Nachdem eine Schicht 11 fertiggestellt ist, wird die Bearbeitungsoptik mit dem Umlenkspiegel 12 senkrecht hochgefahren, und zwar entsprechend der Dicke der jeweiligen Schicht 11.

Als Energiequelle kommt eine Energiequelle großer Bestrahlungsstärke bzw. hoher Intensität, beispielsweise ein Laser, in Betracht. Bei den Einfallsstrahlen 13, 14 und den Ausfallstrahlen 15, 16 handelt es sich dann um Laserstrahlen. Abweichend vom gezeigten Ausführungsbeispiel können mehr als zwei Laserstrahlen Verwendung finden. Es ist auch denkbar, nur einen Laserstrahl zu verwenden.

Die Verschweißung der Materialpartikel 19 findet dadurch statt, daß diese mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit auf den Schweißpunkt 18 auftreffen. Es ist auch denkbar, zur Intensivierung der Verschweißung die Materialpartikel 19 mit einem Impuls zu versehen. Dieses kann dadurch geschehen, daß die Materialpartikel 19 längs ihrer Bewegungsbahn 21 beschleunigt werden, beispielsweise durch die Energie des Lasers im Fokuspunkt 17, einen gepulsten Laserstrahl, elektrodynamisch oder durch ein Fördergas.

Für das erfindungsgemäße Verfahren finden vorzugsweise Materialpartikel 19 mit einer Partikelgröße bzw. einem Durchmesser von 30 µm bis 300 µm Verwendung. Der Durchmesser des Fokuspunkts 17 liegt vorzugsweise im Bereich von 10 µm bis 1 mm. Die Geschwindigkeit, mit der die Materialpartikel 19 sich entlang der Bewegungsbahn 21, insbesondere durch den Fokuspunkt 17, bewegen, beträgt vorzugsweise von 1 m/s bis 300 m/s. Die Erwärmungszeit der Materialpartikel 19 im Fokuspunkt 17 liegt zwischen 10 ns und 10 ms. Aus den vorstehend genannten Wertebereichen werden die konkreten Werte ausgewählt nach der Art des zu verarbeitenden

Materials, der Größe des Werkstücks 10 und der Dicke der zu erwärmenden bzw. einzuschmelzenden Randschicht der Materialpartikel 19.

Alternativ zum vorstehend beschriebenen Verfahren ist es denkbar, die Materialpartikel 19 im Schweißpunkt 18 randschichtseitig zu erwärmen. Dann fallen der Fokuspunkt 17 und der Schweißpunkt 18 zusammen. Gleichzeitig erfolgt eine Anwärmung des Werkstücks 10 am Schweißpunkt 18.

Bezugszeichenliste

- 10 Werkstück
- 11 Schicht
- 12 Umlenkspiegel
- 13 Einfallsstrahl
- 14 Einfallsstrahl
- 15 Ausfallsstrahl
- 16 Ausfallsstrahl
- 17 Fokuspunkt
- 18 Schweißpunkt
- 19 Materialpartikel
- 20 Röhrchen
- 21 Bewegungsbahn

Patentansprüche

1. Verfahren zur Freiformherstellung von Werkstücken aus thermisch behandelbaren Materialien, wobei das Werkstück aus mehreren Schichten erwärmt und miteinander verschweißter Materialpartikel gebildet wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialpartikel (19) vor dem Verschweißen nur am Rand erwärmt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß nur eine (äußere) Randschicht der Materialpartikel (19) erwärmt, insbesondere angeschmolzen, wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialpartikel (19) durch mindestens eine Energiequelle hoher Intensität bzw. hoher Bestrahlungsstärke erwärmt werden.

4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialpartikel (19) auf ihrer Bewegungsbahn (21) zum herzustellenden Werkstück (10) erwärmt werden.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialpartikel (19) in einem Fokuspunkt (17) mindestens eines Energiestrahls hoher Intensität erwärmt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Fokuspunkt (17) einen Durchmesser von 10 µm bis 1 mm aufweist.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Erwärmung der Materialpartikel (19) am Schweißpunkt (18) erfolgt.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß gleichzeitig mit der Erwärmung der Materialpartikel (19) das Werkstück (10) am Schweißpunkt (18) angewärmt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Fokuspunkt (17) auf dem Schweißpunkt (18) liegt.

10. Verfahren nach einem oder mehreren der An-

sprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialpartikel (19) zur Verschweißung mit dem Werkstück (10) durch einen Impuls beaufschlagt werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Impuls gebildet wird durch den Energiestrahle hoher Intensität, insbesondere durch einen gepulsten Energiestrahle hoher Intensität, einen Gasstrom, verdampftes Material der Materialpartikel (19) und/oder ein bewegtes Magnetfeld (elektrodynamisch).

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Beaufschlagung der Materialpartikel (19) mit einem Impuls im Fokuspunkt (17) erfolgt.

13. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Erwärmungszeit der Materialpartikel (19) 10 ns bis 10 ms beträgt.

14. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Geschwindigkeit der Materialpartikel (19) auf der Bewegungsbahn (21) 1 m/s bis 300 m/s beträgt.

15. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialpartikel (19) Pulverkörner mit einer Partikel- bzw. Korngröße von 30 µm bis 300 µm sind.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Pulverkörner aus Metall, Keramik oder Polymer bestehen.

17. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß als Energiestrahle hoher Intensität mindestens ein Laserstrahl verwendet wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

